

2. Теплоснабжение / А.А.Ионин, Б.М.Хлыбов, В.Н.Братенков и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
 3. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Н.Н.Чистяков, М.М.Грудзинский, В.И.Ливчак и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 314 с.
 4. Алексахин О.О. Визначення показників роботи водопідігрівної установки гарячого водопостачання в умовах зміни розрахункового опалювального навантаження // Теплоенергетичні установки та екологія на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць. Вип.70. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – С.123-131.
 5. Алексахин А.А. Определение охлаждения теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип.74. – К.: Техніка, 2006. – С.349-355.
 6. Алексахин А.А., Углов В.И. Оценка точности расчетного определения температуры теплоносителя в обратном трубопроводе тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип.79. – К.: Техніка, 2007. – С. 251-254.
 7. Тепловая изоляция / Под ред. Г.Ф.Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995 – 421 с.
- Получено 28.01.2008*

УДК 621.16

Г.А.ЛЕЩИНСКИЙ, А.Р.КОРСУНОВ, кандидаты техн. наук
Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО СВЕРХЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ АВАРИЙНОГО СБРОСА ПАРА В КОНДЕНСАТОР ТУРБИНЫ

Приведена методика снижения вибрации трубопровода обеспаривания линии промежуточного перегрева пара при аварийной остановке турбины.

При эксплуатации турбоблоков на ряде электростанций была обнаружена существенная вибрация сбросных трубопроводов линии промежуточного перегрева пара, возникающая при открытии клапанов сброса. Вибрация вызывалась большими динамическими усилиями, обусловленными нестационарным движением пара в сбросном трубопроводе.

Определение указанных усилий требует знания газодинамических параметров потока, зависящих от времени и координаты, отсчитываемой по длине трубопровода. Распределение скоростей, давлений, температур и плотностей потока отыскивалось численным решением системы, включающей уравнения сохранения массы, количества движения и энергии перегретого пара, уравнение состояния, также уравнения переноса тепла в стенку трубы и ее изоляцию. Уравнения приводились к характеристическому виду и решались методом матричной прогонки.

Теоретической основой для этой работы послужили газотермодинамические уравнения движения потоков однофазной среды в разветвленных трубопроводах, приведенные в [1].

Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с методикой, изложенной в [3].

Цель статьи – определение мест установки дополнительных опор на трубопроводе, предотвращающих его возможное разрушение при аварийном сбросе пара.

Сброс пара осуществляется в конденсатор. А условия движения пара таковы, что в сбросном трубопроводе, где имеет место трение и теплоотвод в стенки, возникают сверхзвуковые скорости и ударные волны, сопровождающиеся разрывом параметров. Поэтому после выполнения матричной прогонки на временном полушаге в каждом узле сетки вычислялись осредненные по четырем точкам пространственной координаты значения параметров потока. На следующем временном полушаге использовалась дивергентная форма уравнений, которые решались по явной схеме [1].

Граничные и начальные условия задачи сформулированы в соответствии с направлением характеристик исходных уравнений.

Сбросной трубопровод (рис.1) диаметром 273х11 мм, длиной 28 м разбивался на расчетные участки со сравнительно небольшим изменением параметров. Повороты трубопровода выделялись в отдельные участки. Нестационарные газодинамические силы, возникающие на этих участках, определялись с помощью уравнения количества движения, записанного в форме [2]. На сбросном трубопроводе энергоблока мощностью 300 МВт эти силы монотонно возрастали во времени, достигая в отдельных местах величины 10^5 Н.

Решение газодинамической задачи, естественно, требует знания граничных значений параметров на входе в трубопровод, которые из-за сложности геометрии входа могли быть определены только из опыта. Кроме того, важно было знать изменение во времени параметров в ряде сечений трубопровода, чтобы проверить правильность их расчетного определения.

Измерение давлений выполнялось тензометрическими датчиками типа ТДДМ, а температур – малоинерционными термопарами в комплексе с серийной усилительной и регистрирующей аппаратурой.

Тензометры датчика соединены по схеме, предусматривающей температурную компенсацию, а собственная частота мембраны датчика составляет 5 кГц, что вполне удовлетворяет требованиям эксперимента, так как частота измеряемых давлений не превышает 0,02 кГц. Однако в первых опытах были обнаружены аномальные отрицательные давления, зафиксированные в начальные моменты сброса пара. Для выяснения сути обнаруженного эффекта датчика и были испытаны на воздушной установке, в которой изменение давления создава-

лось быстродействующим золотником. Рост давлений, зафиксированный на осциллограммах, был плавным. Отрицательных забросов давлений не наблюдалось. Следовательно, причиной провалов давлений является температурный перепад, исчезающий при прогреве мембраны. При этом возникает кратковременная деформация мембраны, направленная против деформации от измеряемого давления.

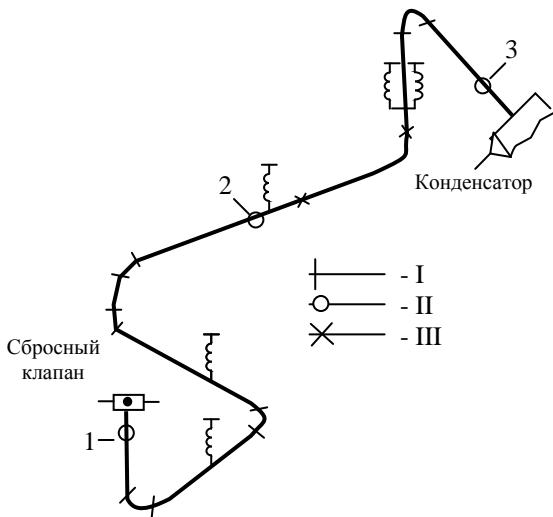


Рис.1 – Схема сбросного трубопровода:

I – границы расчетных участков для вычисления газодинамических сил; II – места установки датчиков давления и температуры; III – места установки дополнительных опор.

В дальнейшем для защиты от теплового удара тензодатчики подключались к сбросному трубопроводу через промежуточные удлинительные трубки (рис.2). В этом случае поток тепла к тензодатчику, а следовательно, и его нагрев ограничены термическим сопротивлением столбика воды. Использование удлинительной трубки не вносит в измерения заметных амплитудных, частотных и фазовых искажений, о чем свидетельствуют соответствующие оценки погрешностей, выполненные по методике [3] для максимальной частоты 20 Гц.

В качестве датчика температуры применяли хромель-алюмелевые термопары с диаметром спая 0,14 мм и постоянной времени не более 0,008 с. Уплотнение выводов термопары, проложенной в штуцере, выполнено с помощью поронитовых прокладок, зажатых болтами между фланцем и крышкой. Провода термопары изолировали керамической

трубкой и стеклотканью. К смонтированным на текстолитовой планке клеммам подключали, с одной стороны, выводы термопары, с другой – удлинительными провода.

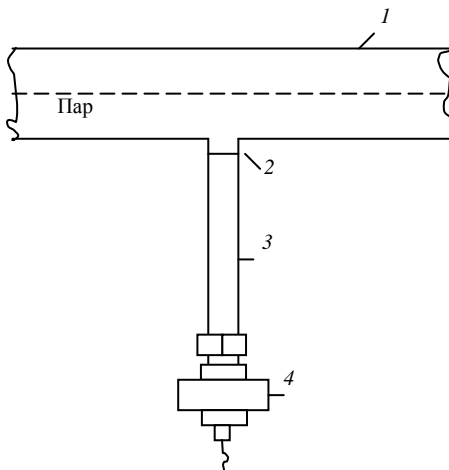


Рис.2 – Схема измерения давления:

1 – исследуемый трубопровод; 2 – удлинительная трубка; 3 – вода; 4 – тензодатчик.

Термопары тарировали с гальванометрами осциллографа и медь-константановыми удлинительными проводами, применяемыми для выводов хромель-алюмелевых термопар при штатных измерениях. Датчики давлений и температур попарно устанавливали на трубопроводе сброса пара в трех сечениях по его длине (рис. 1).

Открытие сбросного клапана обычно выполняется гидравлическим сервомотором по сигналу из линии защиты турбины и связано с аварийными режимами ее работы. Чтобы избежать остановок турбоблока при изменении параметров в сбросном трубопроводе, была собрана гидравлическая схема (рис.3), позволявшая осуществить сброс пара без воздействия на линию защиты. Основным элементом схемы был золотник 5 с ручным управлением.

Нормальная схема (до начала измерений): вентиль 3 открыт, вентили 4 и 6 закрыты, золотник 5 – в среднем положении (изображенном на рис.3). При таком положении гидросервомотор 1 управляется давлением в линии защиты турбины.

Перед началом измерений вентиль 6 открывается, золотник 5 переводится в правое положение, а вентиль 3 закрывается так, чтобы давление воды, подводимой к гидросервомотору во время закрытия

вентилей, было в пределах 10-12 кгс/см². Для этого медленно открывается вентиль 4 и одновременно закрывается вентиль 3; необходимое давление контролируется манометром 2. После закрытия вентилей 3 и 4 гидросервомотор 1 отключается от линии защиты и управляется только золотником 5.

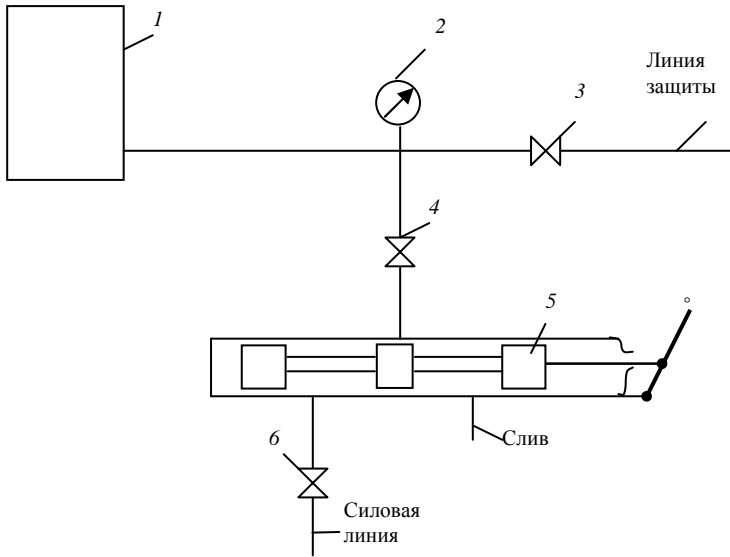


Рис.3 – Гидравлическая схема для имитации сброса пара:

1 – гидросервомотор сбросного клапана; 2 – манометр; 3, 4, 6 – вентили; 5 – золотник.

Для осуществления сброса пара золотник 5 переводится в крайнее левое положение. При этом силовая линия перекрывается, линия управления гидросервомотором 1 соединяется со сливом, и сбросной клапан открывается. После перевода золотника 5 в правое положение сбросной клапан закрывается. Первоначальная схема управления гидросервомотором 1 восстанавливается в обратной последовательности.

Время открытия сбросного клапана измеряли электросекундомером, оно составляло примерно 0,1 с. В течение этого времени давление перед клапаном остается неизменным и равным давлению пара в линии промперегрева.

На рис.4, 5 представлены расчетные и опытные зависимости давления и температуры пара от времени, полученные для трех сечений сбросного трубопровода и свидетельствующие об удовлетворительном совпадении результатов. В качестве граничных условий в расчете ис-

пользовали опытные зависимости, полученные в сечении 1 (рис.1).

После определения газодинамических сил выполняли вибрационный расчет трубопровода. Наибольшая амплитуда колебаний прямолинейного участка трубопровода за сбросным клапаном достигала 105 мм. Установка дополнительных опор (рис.1), места которых определяли расчетом вынужденных колебаний трубопроводной системы, привела к устранению опасных вибраций.

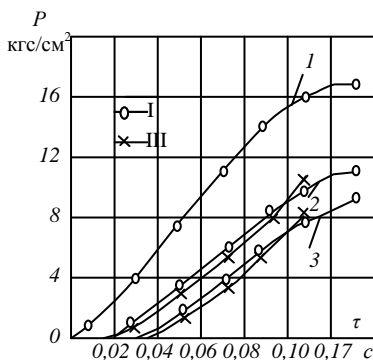


Рис.4 – График зависимости давления пара в различных сечениях трубопровода от времени:

1, 2, 3 – сечения по ходу пара (см. рис.1); I – опыт; II – расчет.

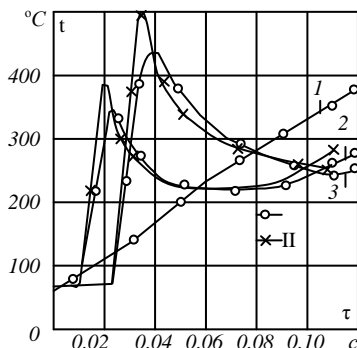


Рис.5 – График зависимости температур пара в различных сечениях трубопроводов от времени.

Обозначения те же, что на рис. 4.

Таким образом, измерения давлений серийными тензодатчиками и температур с помощью хромель-алюмелевых термопар описанным способом дали возможность получить граничные условия для решения нестационарной газодинамической задачи движения перегретого пара в сбросном трубопроводе и позволили оценить правильность расчета.

Описанный подход к решению задач дает представление о газодинамических силах и позволяет отыскивать эффективные методы устранения вибраций трубопроводов мощных энергоблоков.

1.Воеводин А.Ф. Газотермодинамический расчет потоков в простых и сложных трубопроводах (численный метод) // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия технических наук. – 1969. – №8, вып. 2. – С.125-142.

2.Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. – М.: Гостехиздат, 1985. – 285 с.

3.Лещинский Г.А., Дзюбенко А.Д. Измерение нестационарных параметров высокотемпературных сред // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.63. – К.: Техніка, 2005. – С.190-194.

Получено 21.01.2008